文章编号:1008-1534(2026)05-0477-08

基于全周期审查系统的数字化交付数据质量提升研究

孙冠华[1],李鹤尊[2],缪　云[3]

(1.航天长征化学工程股份有限公司,北京　101111;2.北京邮电大学经济管理学院,北京 100876;3.南京强思数字科技有限公司,江苏南京　211899)

摘　要:为了解决数字化交付项目存在的审查技术落后、跨阶段数据协同困难、交付数据合格率低、数据价值难以挖掘等问题,以某煤化工数字化交付项目为研究对象,搭建了全周期数字化交付数据质量智能审查系统的总体框架。在现有审查方案的基础上,通过开发专用数据交互 API 接口,前置二三维一致性校验,开发数据初审工具,编写智慧审查模块,创建一体化审查报表等,构建全周期数字化交付数据质量智能审查系统;通过对比系统应用前后的审查结果,对所提方案的数据治理效果进行验证,并对效率与质量提升的差异来源进行归因分析。结果表明:构建的全周期数字化审查系统,依托自研数据接口、自主开发工具及 AI 模型辅助,成功打通了设计、采购、施工各阶段的数据链路,实现了闭环联动的高效数据审查;应用该系统后,项目交付质量与审查效率得到显著提升,首轮次审查数据合规性错误降低 89.36%,二三维一致性由 59.51%提升至 91.86%,整体审查周期由 16 个月缩短至不足 6 个月。研究结果可为各类工程项目数字化交付的质量保障提供可复制的解决方案及建设思路,并为数字工厂的全生命周期运营与数据价值挖掘打下良好基础。

关键词:计算机辅助设计;数字化交付;数据质量;质量审查;数据治理;智能审查;数字工厂

中图分类号:TP391　　**文献标识码**:A　　**DOI**:10.7535/hbgykj.2026yx05011

Research on improving data quality of digital delivery based on the full-cycle review system

SUN Guanhua[1], LI Hezun[2], MIAO Yun[3]

(1. Changzheng Engineering Technology Company Limited, Beijing 101111, China; 2. School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China; 3. Nanjing Chance Digital Science and Technology Company Limited, Nanjing, Jiangsu 211899, China)

Abstract: To address the problems of outdated review technology, difficulties in cross-phase data collaboration, low compliance rate of delivered data, and challenges in data value mining in digital delivery projects, a coal chemical digital delivery project was taken as the research object to establish an overall framework of an intelligent full-cycle data quality review system

收稿日期:2026-02-04;修回日期:2026-06-10;责任编辑:王海云

基金项目:国家自然科学基金(72402015)

第一作者简介:孙冠华(1987—),男,山东菏泽人,高级工程师,硕士,主要从事数字化交付及数字工厂方面的研究。

E-mail:ax_dt2@163.com

孙冠华,李鹤尊,缪云.基于全周期审查系统的数字化交付数据质量提升研究[J].河北工业科技,2026,43(5):477-484.

Sun Guanhua, Li Hezun, Miao Yun. Research on improving data quality of digital delivery based on the full-cycle review system[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2026, 43(5): 477-484.

for digital delivery. On the basis of existing review schemes, a dedicated data interaction API interface was developed, pre-validation of 2D and 3D data was performed, a preliminary data review tool was created, an intelligent review module was programmed, and an integrated review report was generated. By comparing the review results before and after the system application, the data governance effect of the proposed scheme was verified, and an attribution analysis was conducted on the sources of differences in efficiency and quality improvement. The results show that the constructed full-cycle digital review system, relying on self-developed data interfaces, independently developed tools, and AI model assistance, has successfully unblocked the data links across the design, procurement, and construction phases, realizing efficient closed-loop and linked data review. After the application of the system, the project delivery quality and review efficiency have been significantly improved. The compliance errors in the first round of review have been reduced by 89.36%, the consistency between 2D and 3D data has increased from 59.51% to 91.86%, and the overall review cycle has been shortened from 16 months to less than 6 months. The research results can provide replicable solutions and construction ideas for the quality assurance of digital delivery in various engineering projects, and lay a solid foundation for the full-lifecycle operation of digital factories and data value mining.

Keywords: computer aided design; digital delivery; data quality; quality review; data governance; intelligent review; digital factory

2024 年,中国数字经济核心产业增加值占 GDP 的比重为 10.5%[1],在此基础上,“十五五”规划明确提出了 2030 年数字经济核心产业增加值占 GDP 比重达到 15%的目标。5G 通信、云计算中心、大数据平台等技术的规模化应用构建了数字经济底层架构[2-3],人工智能与工业互联网深度融合[4-6],可视化及虚拟仿真的协同应用[7-9],推动产业数字化、智能化转型。中国化工行业的数字化转型已历经近 20 年的摸索与发展,预计到 2027 年,市场规模将增长至 4.53 万亿元,并呈现出政策积极引导、行业需求旺盛、创新应用众多的特点[10]。

数字化交付是数字化转型的数据基础,是对工程建设过程中静态数据的采集、存储、治理和应用,最终目标在于运用数据,创造价值[11-12]。作为保障数据质量的根本性手段,数字化交付数据质量审查的重要性日益凸显,这也促使全球学术界对该领域的现状评估和技术创新研究热切关注。Subramanya 等[13]的研究表明,美国在路桥建设项目中采用数据集成移交平台,结合人工智能、机器学习和大数据技术,不仅解决了人力资源短缺问题,还通过智能化质量检测提升了工程整体品质。Doukari 等[14]建立了基于语义网的 BIM 数据质量保证和质量控制体系,替代大量人工审查工作,并借助人工智能技术,不断扩展其知识库,提高审查准确性。Larbi 等[15]梳理了集成数字化交付(integrated digital delivery,IDD)的研究进展,提出了一个 IDD 设计与规划阶段应用数字技术相结合的系统架构,打破诸多数据孤岛,提升数据丰富度和数据质量。Chime[16]以阿曼石油开发公司石油天然气改造项目为例,通过项目管理业务流程化和自动化,以及与数字工具的集成,实现了实时数据交换、收集和分析,确保了所有项目数字化交付成果质量达标。卢昱杰等[17]研究 IDD 项目流程框架,提出了数字化设计、数字化制造、数字化施工、数字化运维 4 个阶段的标准化流程节点,密切各阶段之间的数字化联系,突破各阶段的数据孤岛,可用于生产过程复杂、交付成果复杂的装配式建筑项目。曹炜等[18]建立了一套以全量信息模型、AI 识图、多源异构计算机辅助设计(computer-aided design,CAD)格式解析、高性能三维渲染等技术为核心的工程技术数据治理体系,保障了数据的高质量与高可用性。罗那等[19]建立了全厂交付质量保障方法,通过周报日报的制度、质量管理执行流程,实施统一的项目级的数字化交付要求和相关程序文件,提高了数字化交付质量。目前诸多研究虽在提升数字化交付质效方面取得了不少进展,然而,现有研究多数集中于某个阶段的质量控制,或侧重于单一技术的应用,未能系统地构建一个覆盖设计、采购、施工全流程并实现数据闭环联动的审查体系。当前的数字化交付仍存在缺少跨平台数据流转的专用接口、缺乏高效准确的审查工具、未能将数字化审查与传统审查进行有效融合、无法进行审查痕迹的便捷追溯等问题。

因此,本文从数字化交付总体院的角度出发,针对现有方案及流程中存在的问题,尝试建立一种“全周期、智能化、闭环联动、高参与度”的数字化交付数据质量审查系统。

1 审查系统框架下的方案优化

1.1 审查系统框架

交付数据审查是保障数据质量的“检查站”和“守门员”,是数据质量能否过硬、是否可用的关键一环。为解决目前审查方案存在的不足,结合化工数字化交付项目数据质量审查的需求,设计系统总体

框架，如图 1 所示。同时，本研究在构建审查系统时，遵循了《石油化工工程数字化交付标准》[20]及《煤化工工程数字化交付规范》[21]中的相应规范，参考了包括《智能工厂数字化交付 第 2 部分：设计交付》[22]及《石油和化工行业工业数据分类分级指南》[23]中关于数据交付及分类的相关要求。系统框架中的数据模型定义、位号编码规则及交付物清单均与上述规范保持一致，确保了审查工作的可操作性与交付成果的可应用性。整个系统以数字化交付标准、执行性保障模块、安全保障体系作为基础支撑，主要数据流程包含以下几个方面。1）数据采集层　数据包含符合预定义结构模型的结构化数据及其他非结构化数据，由各设计软件及程序 API 接口导出至共享存储，或是由人工上传至处理工具的待处理区。数据采集层确保数据完整不遗漏、传输便捷。2）数据管理层　执行数据监控、数据 ETL 处理、数据集成及元数据管理等工作，实现数据由散乱无章向井井有条的转变，而能够进一步实施数据审查。3）数据审查层　该层是数据质量审查的核心内容，包含数据获取、数据有效性检验、报表审查及统计分析 4 个步骤。与数据采集不同的是，数据获取的内容尽可能明确简练，只需提取出报表审查涉及的要素即可。获取的数据要经过有效性检验进行筛选后进入审查程序。报表审查完成后进行问题数据的分发和统计，并实施历史审查痕迹的追溯、审查数据分析等工作。经过完善的数据再次通过数据获取进入下一轮审查，直至审查合格。4）数据展示层　通过数字化平台、审查报表、统计报告等方式，直观呈现数据治理情况，进一步实施预测纠偏、数据挖掘、数据跨平台迁移等数据深化应用工作。

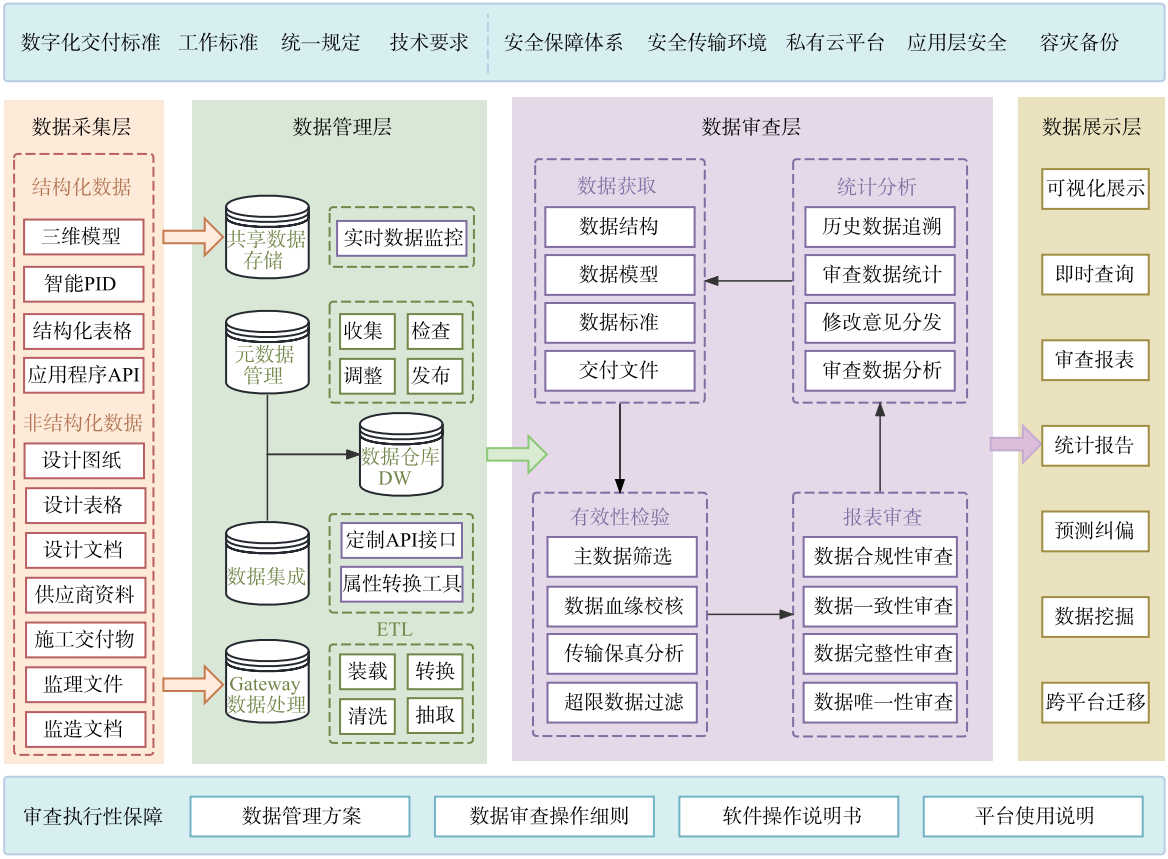

图 1　数字化交付数据质量审查系统框架

Fig. 1　Framework of the data quality review system for digital delivery

1.2　审查方案优化

在审查系统框架内对审查方案进行优化，主要内容如下。1）利用设计协同管理系统、三维协同设计平台整合数字化交付数据，让数据获取更简便易对接；开发专用接口，针对供应商数据非结构化、施工数据格式多样等特点进行定制化数据抓取与清洗，从供应商数据管理平台及施工管理平台获取交付数据并进行规范化处理，在数据采集层建立数据跨平台协作机制，消除数据孤岛。2）前置二三维校验，开发“一致性审查工具”出具专项报表，简洁操作使结果更加清晰[24]，采用参数化配置与导入式规则设定，实现了“低代码”甚至“零代码”操作，设计工程师也可完成快速比对、辅助校审的工作，摆脱了数字化审查必须要有数字化专业工程师参与的困境。

3）基于预定义规则库的自动匹配与判定逻辑，结合多项目快速切换的需求，开发数据初审工具“DPC预审查中心”，在选定项目后，该工具即可替代审查人员完成文件命名、文件路径、文件格式的审核，具备自动判定文件审查规则、支持多项目切换、超量及空白文件提醒、错误报告导出等功能。传统方式依赖人工逐项核对命名规则和文件清单，耗时长、易疏漏，本工具实现了规则的自动化批量校验，效率提升显著。4）应用智能审查技术，简化人工操作。建立“智慧审查模块”，应用 Power BI 软件、C＃代码和 AI 技术代替大量的人工工作，并将工程审查经验转化为结构化数据库，审查经验快速复用；利用 ChatExcel 等工具简化数据处理操作，进一步提高数据审查效率。5）在 SQL Server 数据库中对报表展示数据重新规划，构建“一体化审查报表”，将核心审查要素置于同一张审查报表中，在报表中一次性出具完整审查意见；利用“智慧审查模块”，对不同审查维度下的审查结果进行自动填充。6）同步审查报表与数据库数据。通过 Power BI 获取数字化交付服务器数据，在模型视图中以位号为关联核心建立一对一的关联关系，并在报表视图中验证是否能够获得所需数据。在此基础上，导入承包方最新的修改反馈情况，形成数据完善的痕迹链条，实现从问题发现、责任方分发、修改反馈到结果复核的全链条数据关联与版本管理，使审查过程可追踪、可分析，为质量回溯与持续改进提供了数据基础。7）依付供应商数据管理平台、施工管理平台数据互导共享，建立采购、施工文件与数字化平台位号的关联关系。在数字化平台中提示供应商标注问题，在设计协同平台中提示数字化审查报表的问题，达到审查闭环联动。将各项优化项依托数据流进行串联，形成完整的数字化交付全周期智能审查系统，其主要构成如图 2 所示。

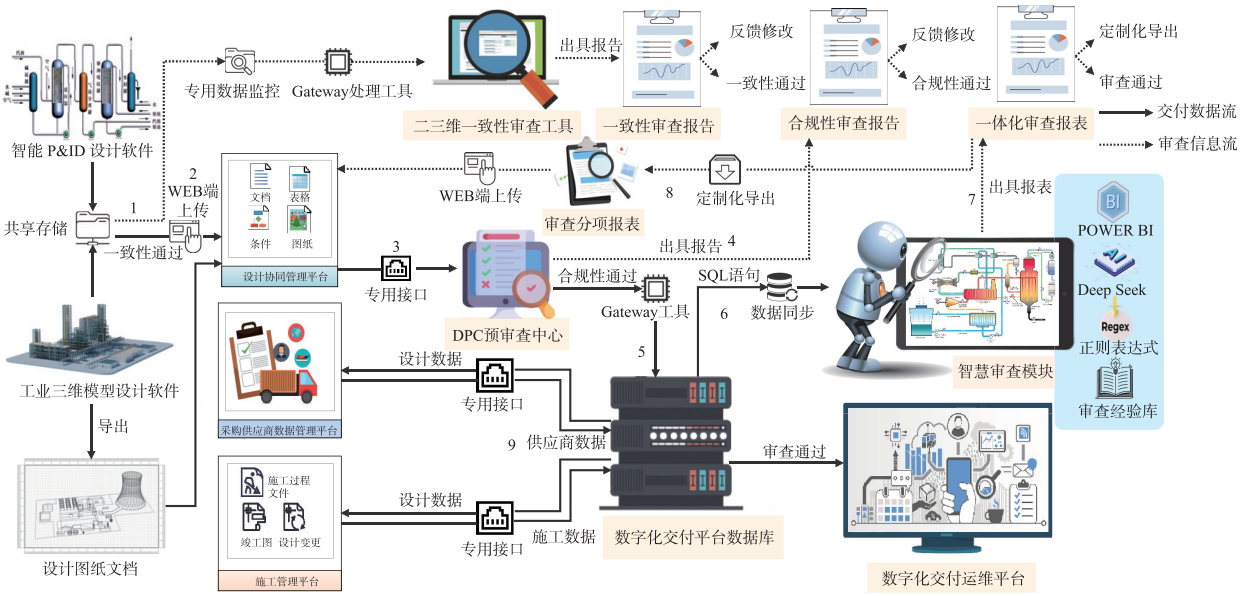

图 2 数字化交付全周期智能审查系统方案示意图

Fig. 2 Schematic diagram of solution of digital delivery full-lifecycle intelligent review system

1.3 实施步骤及优势分析

图 2 同时展示了该系统的审查实施步骤，具体如下。

步骤 1 设置共享存储路径，存放智能 P&ID 设计软件成品 *. pid 及三维模型协同设计平台成品 *. rvm 等。使用数据处理监控器，通过监控指定文件夹、触发比对脚本，自动调用 Gateway 处理工具，并及时对指定存储路径中的三维模型及智能 P&ID 文件进行处理，实现位号提取。使用一致性审查工具进行一致性审查，出具二三维一致性审查报告。相较于传统方法，改进后的方法优势主要如表 1 所示。

表 1 步骤 1 改进前后方法对比

Tab. 1 Comparison of methods before and after improvement in step 1

对比项	改进前	改进后
及时性	差，晚于设计审查	优，同步于设计审查
操作性	弱，手动操作	强，监控软件自动提取，审查软件一键执行
易用性	低，平台代码配置	高，低代码审查工具，参数制、拖拽式形成审查规则
直观性	弱，需数字化专业人员解读报告	强，设计人员也可理解审查报告，无需数字化工程师参与
接受性	低，独立审查、报表复杂，设计人员较抵触	高，辅助设计审查，不额外增加工作量，设计人员易接受

步骤 2　共享存储路径的成品文件通过 WEB 端上传协同管理平台。

步骤 3　建立设计协同管理平台与数字化交付平台的数据流转方案，实现设计文件的数字化筛选、数字化命名、结构化存储 3 项功能，文件暂时存储在待审查区。步骤 3 技术路径如图 3 所示。同时，设计协同管理平台能将上下游专业间提资文件（成品文件中间体）一步接入数字化交付平台，实现提资文件内容审查。

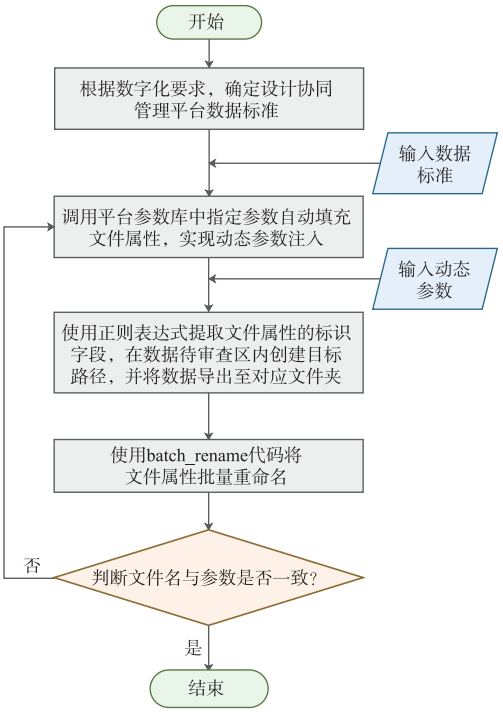

图 3　步骤 3 技术路径

Fig. 3　Technical path of step 3

步骤 4　使用开发的数字化交付数据初审工具“DPC 预审查中心”，将项目数字化规则填入指定位置后，可替代审查人员完成待审查区内文件的命名、路径、格式等规则的审核，具备自动判定文件审查规则、支持多项目切换、超量及空白文件提醒、错误报告导出等功能。步骤 4 技术路径如图 4 所示。

步骤 5　将初审通过的文件通过 Gateway 工具处理后上传数字化交付平台，存储于平台数据库。

步骤 6　通过 Power BI 的“获取服务器数据”功能，连接数字化交付平台数据库。使用 SQL 语句提取数据，生成数字化交付一体化审查报表。在 Power BI 的模型视图中建立关系模型，在报表更新时保留历史痕迹。

步骤 7　使用一体化审查工具，应用 Power BI 平台、C＃代码和 AI 技术、结构化经验数据库代替了大量的人工工作进行高效审查。

步骤 6、步骤 7 共同构成智慧审查模块的主要内容，是数字化交付数据审查的核心。以 Power BI 为载体的智慧审查模块如图 5 所示。

步骤 8　对审查后的报表进行定制化导出，实现按审查项、单位、单元、专业等不同需要进行拆分，形成审查分项报表，报表通过设计协同管理平台的 WEB 端上传，将审查结果反馈至各相关方。

步骤 9　使用各类专用接口，将数字化平台的数据信息导入至供应商数据管理平台、施工管理平台等系统。相应地，供应商的变更修改信息可以反馈至设计协同管理平台，从而消除数据孤岛，实现数据闭环联动。上述实施效果如图 6 所示。

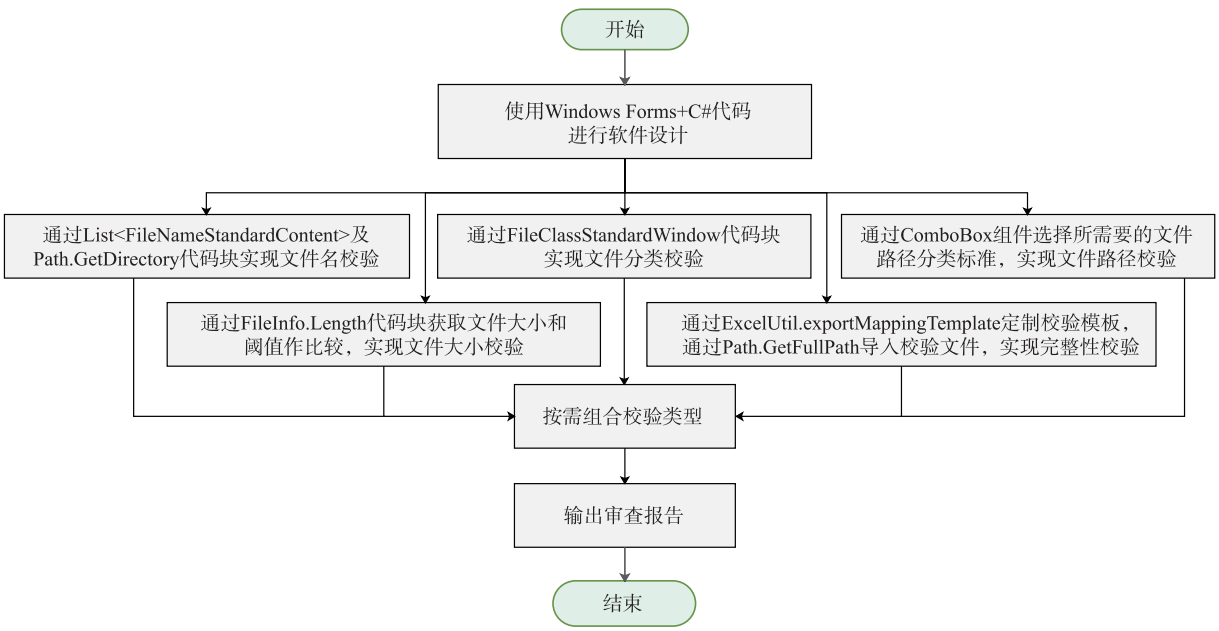

图 4　步骤 4 技术路径

Fig. 4　Technical path of step 4

图 5 以 Power BI 为载体的智慧审查模块

Fig. 5 Intelligent review module based on Power BI

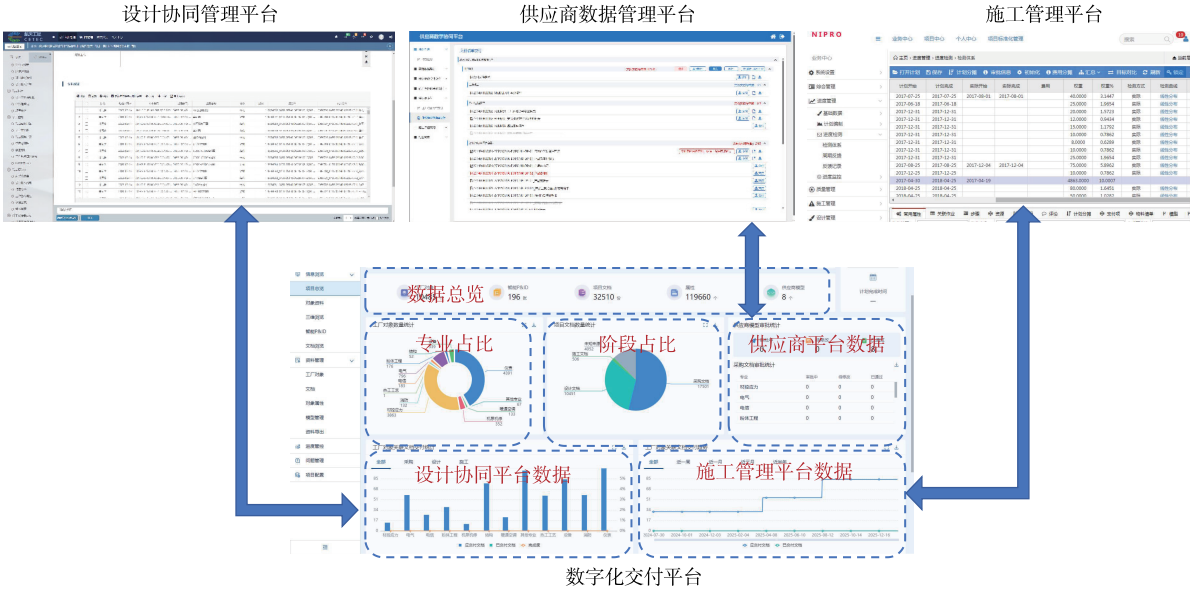

图 6 基于数字化交付平台的数据集成实施效果

Fig. 6 Display of data integration based on digital delivery platform

2 系统应用效果

为清晰反映审查体系改进带来的成效，本研究借鉴以往的研究方法[25]，将审查结果转化为定量指标，在人员配置、硬件性能等条件保持一致的基础上，以 2 个相同体量的气化装置为例进行对比，对其中 1 个装置应用改进后的审查体系，分别考察合规性错误消除、主位号错误消除、二三维一致性率及整体审查情况，统计结果如图 7 所示。

由图 7 a) 可知，改进后，第 1 轮审查报表中的合规性错误大大减少，由 9 962 项错误缩减至 1 060 项，减少 89.36%，首轮合规性错误大幅降低，主要得益于“前置二三维校验”和“数据初审工具”的应用，在数据上传平台前即拦截并消除了大部分在格式、命名及存放路径等方面的合规性错误。从错误来源分析，改进后存在的错误项基本全部来自于其他途径上传数字化平台的少量数据文件，因未经初审而在上传过程中报错。此类错误经上传人员修改后即可正常上传，一般不需要专项整改，其错误数量随着文件更新数量的减少而缓慢减少。在主位号（包含管道、管道特殊件、设备及实体仪表位号）错误消除方面，改进后的消错速度提升明显，这是由于运用了智

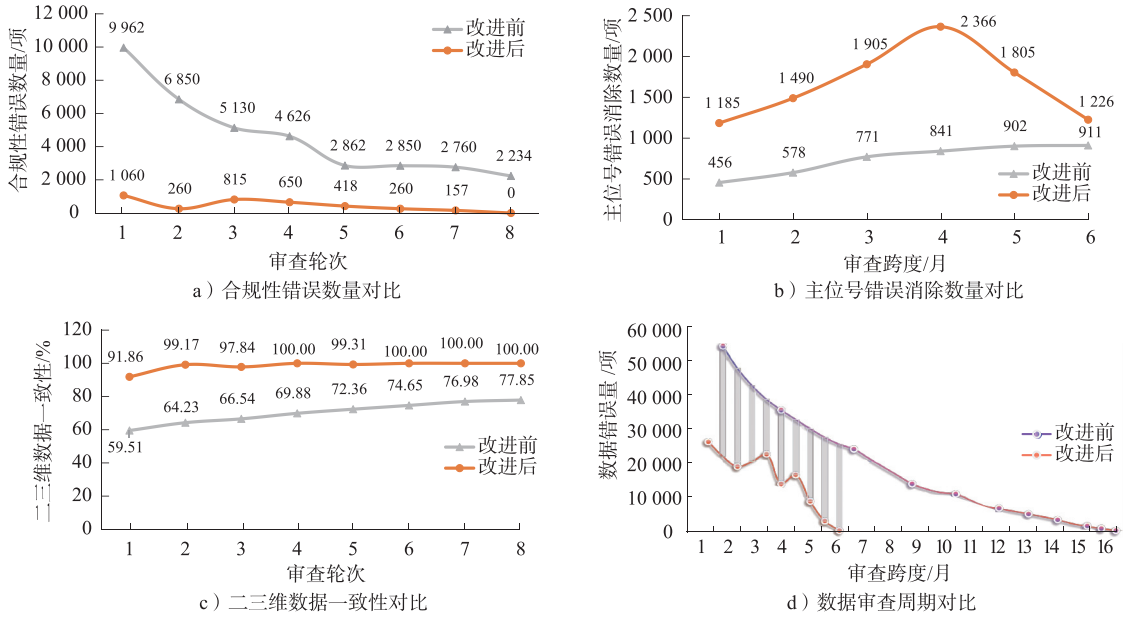

图 7　审查体系改进前后数据审查情况对比

Fig. 7　Comparison of data review before and after the improvement of the review system

能审查技术和一体化审查报表，简化了审查步骤、提升了审查效率、提高了审查精度。由图 7 b)可知，改进体系的错误消除速度提高了接近 2 倍，并随着工具的迭代升级和工程师熟练度提升而不断增长，最高单月消除主位号错误 2 366 项，随后由于错误存量的降低，速度下降。与之对应的是，改进前的速率提升仅仅依靠工程师熟练度的提升，增长缓慢。在二三维数据一致性方面，改进体系的初始数据一致性有了长足进步，由过去的 59.51%提升至 91.86%，并较快地满足一致性 100%的要求，如图 7 c)所示。该数据来源于设计、采购及施工等各个阶段，因此，这项提升与改进体系中的每一个环节相关。改进体系二三维一致性有 2 个下降的过程，分别在第 3 轮及第 5 轮，这是由于采购及施工数据在相应轮次接入后，多数据源不一致而产生的错误项。改进前，采购及施工数据与设计端存在数据孤岛，多数据源不一致的问题始终存在且无法提前规避或集中解决，因此在图 7 c)中呈现持续提升但进展缓慢的态势。传统方式下无法及早暴露并解决跨阶段数据不一致的问题，导致此类问题隐藏至后期，解决成本更高。图 7 d)显示了改进体系应用前后的整体审查情况，改进后数据审查轮次由以往某项目的 12 轮降低为 8 轮，审查周期由 16 个月缩短至不足 6 个月，这是“全流程数据联动”“一体化审查报表”“智慧审查模块”共同作用的结果，减少了跨平台沟通和数据整理的时间，提升了单轮审查效率。由图 7 d)还可以看出，改进后的数据错误量存在 2 次反弹，这与图 7 c)中的数据波动原因一致。将改进前后的曲线相连，连接线的长度基本保持一致，说明两者数据完善修改的速率是大致相同的。而改进后的初始错误更低，审查轮次更加密集，说明效率的提升主要来源于改进体系的 2 个方面优势：1)尽早杜绝了错误的产生和扩大，使初始错误量显著降低；2)使数据审查更加的便捷和迅速，在单位时间内进行了更多轮次的审查。综上所述，应用改进的审查体系后，审查效率得到明显提升，为数字化交付数据质量达标提供了有力保障。

3　结　语

本文针对当前数字化交付数据审查程序滞后、效率低下、协同困难等问题，搭建审查系统总体框架，并在该框架内进行探索优化，主要结论如下。

1）建立了一种从设计端到供应商、施工方的数字化交付全周期数据审查方案，借助自研接口、工具软件及 AI 辅助，缩短审查步骤、打通数据隔阂、减少人工操作，高效、便捷地实现交付数据质量保障目标。

2）在项目中应用本系统后，各项数据完善，统计指标进步明显，合规性错误数量由过去的 9 962 项缩减至 1 060 项，初始二三维一致率由过去的 59.51%提升至 91.86%，审查周期由 16 个月缩短至不足 6 个月。

该审查系统框架及方法提高了整个数字化交付项目的实施效率及数据质量，具有操作便捷、通用性强的特点，可供业内公司参考借鉴。但本研究仍存在不足。首先，系统目前集成的 AI 技术主要用于规则化审查和简单模式识别，在复杂语义理解、自适应学习方面存在技术空缺；其次，系统对接的第三方平台类型有限，面对更加复杂的企业系统生态时，接

口的通用性有待进一步验证。未来将重点补足专业领域深层语义理解、上下文关联分析等能力缺口，提升 AI 模型对非结构化、专业性数据的处理能力，同时，参考模块化接口设计思路，打造高兼容性的接口标准，适配不同第三方平台的对接需求。

参考文献/References：

[1] 国家统计局. 2024 年全国数字经济核心产业增加值占 GDP 比重为 10.5%[EB/OL]. (2025-12-30)[2026-01-06]. https://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202512/t20251230_1962177.html.

[2] 李春发，李冬冬，周驰. 数字经济驱动制造业转型升级的作用机理——基于产业链视角的分析[J]. 商业研究，2020(2)：73-82.
Li Chunfa，Li Dongdong，Zhou Chi. The mechanism of digital economy driving transformation and upgrading of manufacturing：Based on the perspective of industrial chain restructuring[J]. Commercial Research，2020(2)：73-82.

[3] Das D K. Exploring the symbiotic relationship between digital transformation，infrastructure，service delivery，and governance for smart sustainable cities[J]. Smart Cities，2024，7(2)：806-835.

[4] 陶飞，张辰源，张贺，等. 未来装备探索：数字孪生装备[J]. 计算机集成制造系统，2022，28(1)：1-16.
Tao Fei，Zhang Chenyuan，Zhang He，et al. Future equipment exploration：Digital twin equipment[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems，2022，28(1)：1-16.

[5] Malik S，Muhammad K，Waheed Y. Artificial intelligence and industrial applications-A revolution in modern industries[J]. Ain Shams Engineering Journal，2024，15(9)：102886.

[6] Attaran M，Celik B G. Digital twin：Benefits，use cases，challenges，and opportunities[J]. Decision Analytics Journal，2023，6：100165.

[7] Yoon S，Zhu Hanjing，Hwang B G，et al. Accelerating digital transformation in construction：Best practices for the successful implementation of integrated digital delivery[J]. Automation in Construction，2025，178：106417.

[8] Nguyen T D，Adhikari S. The role of BIM in integrating digital twin in building construction：A literature review[J]. Sustainability，2023，15(13)：10462.

[9] 赵正路，韩月楼. 基于 BIM+GIS 的铁路四电工程智能建造方案研究[J]. 铁路计算机应用，2023，32(8)：23-26.
Zhao Zhenglu，Han Yuelou. Intelligent construction scheme for railway four-electric engineering based on BIM + GIS[J]. Railway Computer Application，2023，32(8)：23-26.

[10] 共研产业研究院. 2025—2031 中国化工数字化市场深度调查与市场年度调研报告：R1810732[R/OL]. 北京：共研产业研究院. 2024-11-01. https://www.gonyn.com/report/1810732.html.

[11] 侯立刚. 钢铁冶金工程数字化交付关键问题浅析[J]. 工程建设与设计，2025(11)：160-162.
Hou Ligang. Analysis of key issues in digital delivery of iron and steel metallurgical engineering[J]. Construction & Design for Project，2025(11)：160-162.

[12] 苏杰，王亚震，赵航. 工程数字化交付实施路径探索与应用[J]. 中国市政工程，2025(2)：105-108，112.
Su Jie，Wang Yazhen，Zhao Hang. Exploration & application of the implementation path of engineering digital delivery[J]. China Municipal Engineering，2025(2)：105-108，112.

[13] Subramanya K，Kermanshachi S，Patel R K. The future of highway and bridge construction：Digital project delivery using integrated advanced technologies[C]//International Conference on Transportation and Development 2022. Seattle：American Society of Civil Engineers，2022：14-25.

[14] Doukari O，Motamedi A. An ontology to enable semantic BIM-based data quality assurance and quality control[C]//Transforming Construction with Off-Site Methods and Technologies. Fredericton：Canadian Society for Civil Engineering，2022：1-3.

[15] Larbi J A，Llewellyn C M T，Ababio B K，et al. Developing an integrated digital delivery framework for designing and planning construction projects：A review of interoperable digital technologies[J]. International Journal of Construction Management，2025，25(3)：347-362.

[16] ChimE K C. Advancing portfolio project delivery and operation handover assurance through digitalization in the oil and gas[C]//ADIPEC. Abu Dhabi：SPE，2024：SPE-222654-MS.

[17] 卢昱杰，卢家辉，王硕，等. 新型建筑工业化视角下集成数字交付理论体系构建[J]. 清华大学学报(自然科学版)，2024，64(2)：214-223.
Lu Yujie，Lu Jiahui，Wang Shuo，et al. Establishment of an integrated digital delivery (IDD) system under the perspective of new construction industrialization[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology)，2024，64(2)：214-223.

[18] 曹炜，宋楠，谢宏. ET 数据全生命周期治理技术及应用[J]. 信息通信技术与政策，2024，50(10)：75-81.
Cao Wei，Song Nan，Xie Hong. Full lifecycle ET data governance technologies and its applications[J]. Information and Communications Technology and Policy，2024，50(10)：75-81.

[19] 罗那，张华. 全厂数字化交付项目的实践与思考[J]. 石油化工设计，2025，42(1)：59-64，75.
Luo Na，Zhang Hua. Practice and thinking of plant-wide digital delivery project[J]. Petrochemical Design，2025，42(1)：59-64，75.

[20] GB/T 51296—2018 石油化工工程数字化交付标准[S].

[21] T/CPCIF 0271—2023 煤化工工程数字化交付规范[S].

[22] GB/T 43553.2—2025 智能工厂数字化交付 第 2 部分：设计交付[S].

[23] T/CPCIF 0270—2023 石油和化工行业工业数据分类分级指南[S].

[24] 孙冠华. 数字化交付数据质量审查技术改进及应用[J]. 河北工业科技，2025，42(5)：490-498.
Sun Guanhua. Improvement and application of digital delivery date quality review technology[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology，2025，42(5)：490-498.

[25] Zhan Hanzhang，Hwang B G，Jabbar S B B A. An integrated approach to assessing digitalization of integrated digital delivery projects[J]. Journal of Construction Engineering and Management，2025，151(6)：04025044.